

Si를 기판으로한 P₂O₅-SiO₂ 광도파로의 제작 및 손실측정*

이형중 · 임기건 · 정창섭
전남대학교 자연과학대학 물리학과

정 환 재
전남대학교 사범대학 물리교육과

김 진 승
전북대학교 자연과학대학 물리학과

(1992년 10월 12일 받음)

저압화학기상증착법으로 Si 기판에 P₂O₅-SiO₂ 광도파로박막계를 제작하였다. 제작된 박막의 광도파손실율은 1.65 dB/cm이었으나 1100°C에서 열처리한 뒤에는 0.1 dB/cm 이하로 크게 감소하였다. 레이저 노광법과 활성이온식각법으로 광도파로를 제작하여 1100°C에서 열처리하였다. 열처리 결과 도파로 코어의 모양은 사각형에서 반원형으로 바뀌었으며, 0.6328 μm에서 0.03 dB/cm 그리고 1.53 μm에서 0.04 dB/cm의 낮은 도파손실율을 나타내었다. 도파로의 도파손실율이 감소하는 이유로는 고온 열처리과정에서, 첫째 박막조직과 결합하여 광흡수를 일으키는 수소가 확산 방출되고, 둘째 광산란을 일으키는 도파로의 거친 계면 및 박막조직이 재형성되며, 셋째 식각법으로 도파로를 만들때 생기는 도파로 코어의 거친 계면이 매끄럽게되어 도파광의 산란손실이 줄어들기 때문으로 생각된다.

I. 서 론

기판 위에 만들어진 광도파로의 도파손실율은 도파로의 재질에 따라서 다르지만 보통 수 dB/cm로서 광섬유의 도파손실율에 비하면 매우 크다. 그럼에도 불구하고 평판 광도파로는 광섬유 소자에 비해 작고 구조적으로 더 안정되어 있어 브래그격자, 박막히터, 결합기 등의 여러 가지 광회로 요소 및 광전소자 혹은 신호처리용 전자 소자까지도 쉽게 집적할 수 있고, 쉽게 대량생산할 수 있는 장점이 있기 때문에 도파로를 기판 위에 만드는 방법과 이를 쓰는 여러가지 기능의 광회로에 관한 연구가 활발히 수행되고 있다.

최근에는 평판도파로의 광손실율이 0.026 dB/cm 정도까지 작아졌으나^[1] 이 값도 광섬유의 전파손실율 0.2 dB/km에 비하면 아직도 매우 크다. 평판도파로의 광손실은 광통신용 광회로 소자나 고분해 광도파로 공진기와 같은 정교한 광집적회로소자의 성능 및 특성에 큰 영향을

미친다. 광통신에서는 다채널, 대용량 및 고기능의 광회로소자가 필요하므로 광분할기, 광결합기, 브래그격자 등의 도파로의 기능단위들이 많이 반복 배열되는데 전체 광손실은 단위 광회로요소의 수에 비례하여 커지므로 손실이 작은 광도파로가 꼭 필요하다. 또한 도파로 공진소자에서는 공진 finesse가 도파로의 손실율에 의해 결정되므로 공진기의 분해능을 높이려면 도파로의 광손실을 가능한 한 줄여야 한다.^[1-4]

지금까지 보고된 저손실 광도파로에는 박막 즉 일차원 도파구조로는 레이저 열처리법으로 만든 손실율 0.01 dB/cm의 ZnO 박막도파로과,^[5] 도파로 즉 이차원 도파구조로는 CVD (chemical vapor deposition) 및 FHD (flame hydrolysis deposition) 방법으로 만든 손실율 0.026 dB/cm^[1] 및 0.03 dB/cm^[2] 실리카 광도파로가 있다. 도파로의 손실율이 0.01 dB/cm 정도로 작아지면 도파로의 길이가 기판의 크기에 따라 제한되기 때문에 손실율을 실험적으로 채는 일도 어려워지는데, 도파로로

* 본 연구는 교육부 기초과학 학술연구조성비(BSRI-90-212)의 연구비 지원을 받아 이루어 졌음.

고리 공진기를 만들어 이 공진기의 모우드의 선폭을 조사하여 손실율을 재는 법이 제안되었다.^[1]

본 연구는 LPCVD (low pressure chemical vapor deposition)에 의한 P₂O₅-SiO₂ (phosphosilicate glass; PSG) 실리카 저손실 광도파로의 제작에 관한 연구이다. Si를 기판으로한 실리카 광도파로는 다음과 같은 특징이 있다: 1) 잘 개발되어 확립된 실리콘 반도체 공정기술을 그대로 쓸 수 있다. 2) 광신호의 처리에 필요한 전자소자들을 같은 기판 위에 집적할 수 있다. 3) 값싸게 대량생산할 수 있다. 4) 박막특성이 좋은 thermal oxide를 도파로의 기저박막으로 쓸 수 있다. 5) Si의 V-고랑 (V-groove) 식각법을 써서 광섬유와 도파로의 연결을 안정시킬 수 있다. 6) 광섬유와 같은 SiO₂를 주 재료로 하므로 융착 연결이 가능하고 도파모우드의 크기가 광섬유의 모우드 크기와 비슷하여 광섬유를 연결할 때 손실이 작다. 7) Si의 열전도율이 크므로 반도체 레이저를 혼성방식(hybrid type)으로 Si 기판 위에 집적시키면 고전류로 레이저를 작동시킬 수 있어 레이저의 출력을 키울 수 있다.

지금까지의 Si를 기판으로하는 광도파로의 연구로는 SiCl₄, TiCl₄ 등을 재료로하여 FHD법으로^[6] 만드는 TiO₂-SiO₂ 광도파로와 LPCVD법으로^[7,8] 만드는 PSG 광도파로의 연구가 있다. 이 연구에서는 Si 기판 위에 LPCVD법으로 PSG-SiO₂ 도파박막층을 만들고,^[9] 여기에 레이저를 써서 도파로의 패턴(pattern)을 노광시킨 다음, 활성이온식각법(reactive ion etching; RIE)으로 광도파로를 만들었다. 이렇게 만들어진 광도파로를 열처리하여 광손실을 줄였으며, 그 원인을 논의하였다.

II. 광도파로의 제작

도파로의 특성은 도파로의 굴절율 분포에 따라서 달라진다. PSG는 인(P)의 농도에 따라서 굴절율이 다음과 같은 관계를 가진다^[10]:

$$\Delta n = 0.0014 \times P \text{의 농도(wt. \% : 중량백분율)}$$

그러므로 도파로 코어의 인의 농도를 클래드보다 높게 하면 도파로가 구성되며, 도파로 각 부위의 인의 농도를 조절하면 도파모우드의 특성도 제어할 수 있다. 그림 1은 실험실에서 만들어진 PSG 광도파로의 단면 구조로서 반원부분이 4% PSG 광도파로의 코어이고, 코어의 위 아래가 SiO₂ 클래드이다. PSG 광도파로를 만드는 과정은 그림 2에 나타냈는데, 각 단계의 제작과정은 다음과 같다.

1) H₂O₂(진한용액; 30 wt. %)에 H₂SO₄(진한용액; 98 wt. %)를 1:1 부피비로 섞은 용액에 Si 웨이퍼를 담그어

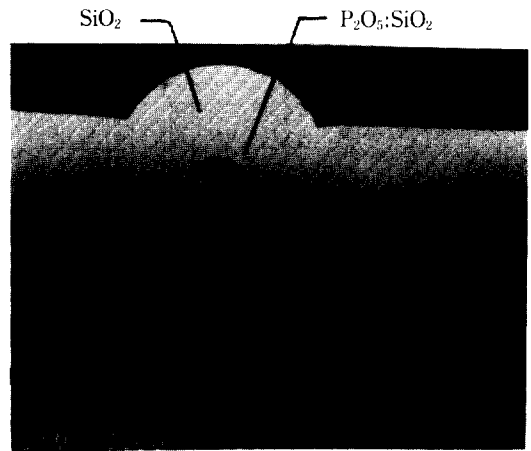


그림 1. Photograph of the cross section of phosphosilicate glass waveguide.

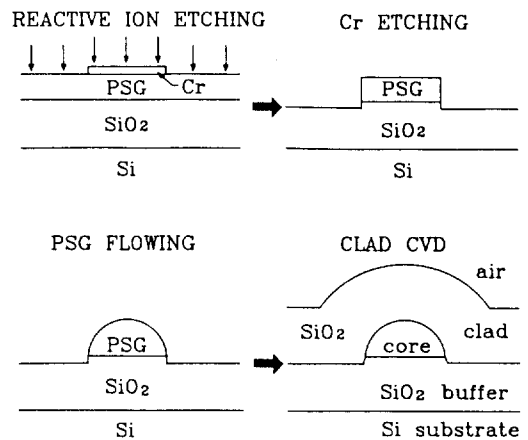


그림 2. Schematic of the fabrication processes of phosphosilicate glass waveguide.

80°C에서 10분간 세척하고 증류수를 흘려 충분히 헹군 후에 1%의 HF 수용액에 웨이퍼를 2분간 에칭한다.

2) 웨이퍼 위에 8~10 μm의 SiO₂ CVD 박막을 증착하고 1%의 HF 수용액에 웨이퍼를 2분간 에칭한다. 다음에 P가 4 wt. %인 PSG CVD 박막을 3 μm 두께로 증착하고 1100°C의 H₂O/O₂ 분위기에서 1시간 동안 PSG를 flow시킨후^[11] 1000°C의 산소 분위기로 1시간 동안 열처리한다.

3) 웨이퍼에 50 nm의 Cr을 증착하고 그 위에 negative photoresist를 도포한다. 다음에 IBM PC로 제어하는 정밀 x-y 이송기를 써서 He-Cd 레이저의 집속광을 웨이퍼에 노광시키고 현상한다. 그림 3은 노광장치의 개

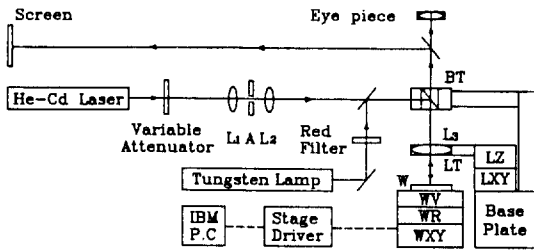


그림 3. Schematic of the setup for laser exposure of waveguide patterns: L; lense, A; aperture, W; wafer, WV; vacuum holder, WXY and LX, Y; x-y translation stage for wafer and lense, BT and LT; tilt stage for beam splitter and lense, LZ; z translation stage for lense.

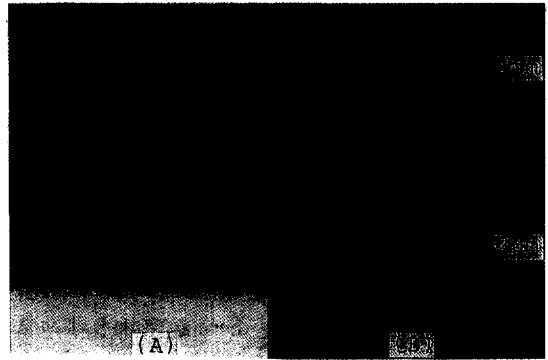


그림 5. Photograph of the waveguide patterns made by RIE; (A) Cross section of the waveguide core covered with Cr; (B) Waveguides with the width of 3 μm and 2 μm each.

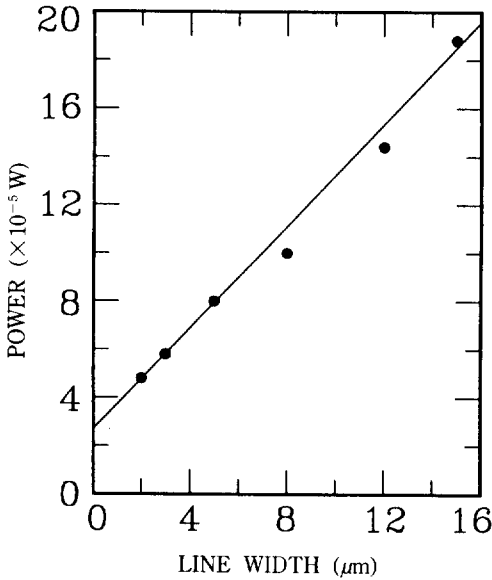


그림 4. Width dependence of waveguides for the amount of laser exposure.

략도이며, 노광량을 줄여가며 2 μm의 선폭까지 도파로의 패턴을 얻을 수 있었다.(그림 4)

4) Cr 층을 CAN(ceric ammonium nirate 18%, acetic acid 5% 수용액)으로 식각하고 잔여 photoresist를 제거한 후에 CF₄(92%)/O₂(8%)를 써서 활성이온식각법으로 도파로의 패턴을 식각한다.(그림 5) 다음에 Cr 마스크를 CAN으로 제거한다.

5) 1%의 HF 수용액에 PSG 도파로 패턴을 2분간 에칭한 후에 웨이퍼를 1000℃의 H₂O/O₂ 분위기에서 1시간동안 열처리(flow of PSG)하여 반원형의 매끄러운 계

면을 갖는 도파로 코어로 만든다. 이때 도파로 코어에 첨가된 P는 PSG의 연화(softening)가 낮은 온도에서도 잘 일어나도록 해주며 도파로 내의 응력도 감소시켜준다.

6) CVD SiO₂를 3 μm 두께로 증착하여 도파로의 피복층을 만들고 1000℃의 질소 분위기에서 1시간 동안 열처리를 하여 도파로 내의 잔여응력을 줄이고 도파로 박막을 고밀도화(densification)한다.^[10]

III. 도파손실 측정 및 논의

이 연구에서 쓴 손실측정법은 도파로절단법(cut-back method)으로서 실험장치의 개략도는 그림 6과 같다. 도파로에 빛을 집어넣는데는 배울 20배의 현미경 대물렌즈를 써서 빛을 집중하여 도파로의 단면에 비추는 방법을 썼고, 집중광을 도파로 코어와 맞추어 정렬하는데는 3차원 피에조 이송기를 썼다. 도파로 광축의 정렬상태를 확인하고, 입력광을 관찰하기 위해 현미경을 설치하였으며, 측정광원으로는 He-Ne 레이저(파장 633 nm)와 파장 1.30 μm와 1.53 μm의 반도체레이저를 썼다. 도파로를 지나온 빛은 배울 20배의 현미경 대물렌즈를 써서 모아 Ge-광검출기에 넣어 밝기를 잰다.

도파손실을 측정하기 위해 Si 기판에서 길이 6.9 cm의 도파로를 쪼개내고 다시 1 cm 간격으로 도파로를 쪼개 내가며 도파로를 지나온 빛의 밝기를 재었다. 도파로의 길이에 대한 밝기의 변화를 그래프로 나타내고 최소자승법을 써서 이 그래프의 기울기를 구하여 도파로의 광손실율을 구하였다. 측정정밀도를 높이기 위해 하나의

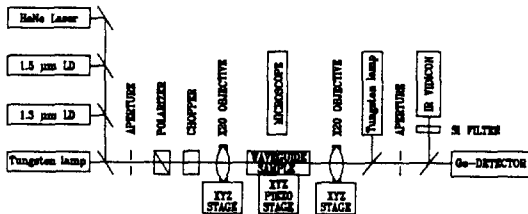


그림 6. Schematic of the setup for measurement of the propagation loss of waveguides.

측정시료에 똑같은 도파로를 10개 이상 만들었고, 매 측정마다 각 도파로에 대해 10번씩 측정을 반복한 다음 광손실율의 평균값과 편차를 산출하였다. Si 기판은 (100)면의 웨이퍼를 사용하였으며, 도파로의 두께는 Si 기판 두께 625 μm에 비하여 아주 얇으므로 도파로의 조개냄은 서로 직교하는 Si의 (011)과 (01̄1)면을 따라서 이루어진다.(웨이퍼의 가장자리의 큰 flat과 작은 flat에 각각 해당함) 이 방법은 절단면의 상태가 매우 좋아 손실율이 작은 도파로를 재는데 적합하다.

입력결합(end-fire coupling)에서는 렌즈로 집속한 가우스빔의 빛이 도파로 단면을 통해 도파로 속으로 들어가면서 도파모우드로 전환된다. 따라서 이 때의 결합효율은 집속된 가우스빔의 빛과 도파로의 도파모우드가 얼마나 비슷한가에 따라 정해지므로 도파로의 정렬상태, 렌즈의 배율, 장치의 진동에 대한 안정성 등에 세심하게 주의를 기울여야 높은 결합효율을 얻을 수 있다. 이와 같은 측정법에서는 실험장치의 도파로에 대한 광결합율이 매번의 측정에서 일정하게 유지되는 재현성이 있어야 한다. 따라서 매번 측정할 때마다 투과광의 밝기가 최대가 되도록 도파로를 피에조 이송기로 움직여가며 입력렌즈에 대해 최대의 광결합이 이루어지는 상태에서 도파로를 지나온 빛의 밝기를 재었다.

본 연구에서는 0.6328 μm 근처의 광파장에서 단일모우드가 되는 가시광용 도파로와 1.30~1.53 μm 근처의 광파장에서 단일모우드가 되는 근적외광용 도파로의 두 종류 도파로를 설계하고 제작하였으며 이들 두 종류 도파로에 대한 광손실율을 각각 0.6328 μm, 1.30 μm 및 1.53 μm의 광파장에서 측정하였다. 이 도파로들은 그 크기 및 굴절률이 그림 7과 그림 8에 표시된 바와 같이 서로 다르며, 계산에 의하여 임의의 파장에서 적당한 모우드구속을 갖도록 도파로의 첫수 및 굴절률을 계산할 수 있다.^[17]

표 1은 가시광선 파장에서 단일모드인 광도파로의 도파로 절단길이에 따른 투과광의 측정치를 나타낸 것

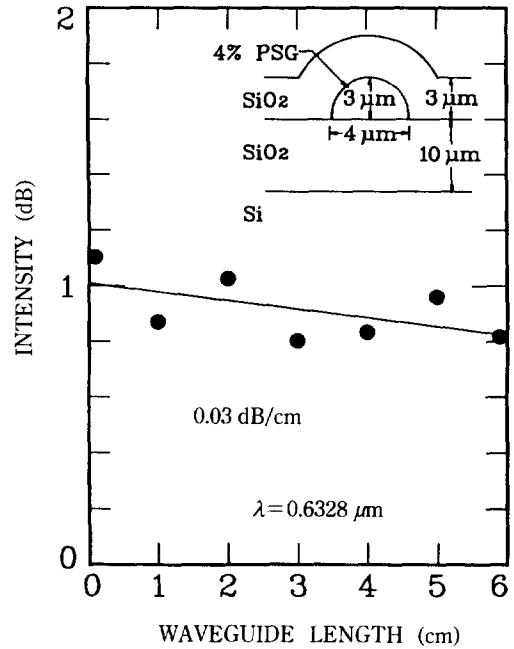


그림 7. Propagation loss of the visible light guiding phosphosilicate glass waveguide at 0.6328 μm wavelength.

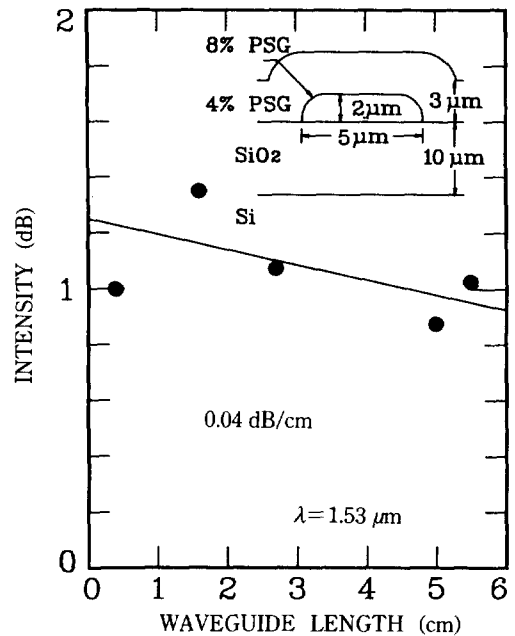


그림 8. Propagation loss of the near IR light guiding phosphosilicate glass waveguide at 1.53 μm wavelength.

Table 1. Measured intensities of the transmitted light through ten P₂O₅-SiO₂ waveguides for different cut length of the waveguides; the light wavelength is 0.6328 μ m.

cut length (cm)	Transmission intensity (mV)										Average Intensity
	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	
0.9	39.2	36.8	38.5	37.1	36.8	39.5	36.4	40.4	38.3	38.5	38.15
1.9	38.2	40.6	38.7	40.2	38.5	38.8	40.8	37.9	40.1	40.6	39.44
2.9	38.4	38.0	40.2	38.6	37.7	38.2	38.4	36.2	38.2	39.0	38.29
3.9	39.6	37.7	38.6	39.3	36.4	39.5	36.4	38.4	37.8	36.6	38.03
4.9	40.7	38.1	39.5	38.8	41.7	41.7	39.7	40.0	38.8	41.4	40.04
5.9	38.5	38.7	38.3	38.3	37.3	39.7	39.2	37.7	39.1	39.5	38.63
6.9	41.5	41.2	40.4	38.4	41.5	39.9	39.7	42.7	41.6	40.8	40.77
Loss (dB/cm)	0.038	0.038	0.016	0.002	0.062	0.025	0.033	0.040	0.033	0.027	0.031 (± 0.016)

으로서 측정광의 파장은 0.6328 μ m이다. 그림 7은 표 1의 각 도파로에 대한 투과광량의 평균값으로부터 광손실을 구한 것이다. 그림 7의 결과로부터 가시광용 도파로의 파장 0.6328 μ m에서 광손실률은 0.03 ± 0.016 dB/cm의 매우 적은 값을 가짐을 알 수 있다. 그러나 이 도파로를 1.3 μ m 광파장에서 측정해보면 2.29 ± 0.02 dB/cm, 그리고 1.53 μ m에서 측정해보면 3.96 ± 0.02 dB/cm의 매우 큰 광손실을 가지며, 이로부터 근적외광 영역에서는 모두 드구속이 적어 광손실이 큼을 짐작할 수 있다.

근적외광용 도파로의 광손실율도 위와 같은 방법으로 측정할 수 있다. 그 결과 근적외광용 도파로는 1.30 μ m에서는 0.04 ± 0.02 dB/cm, 그리고 1.53 μ m에서는 0.04 ± 0.01 dB/cm의 매우 적은 광손실을 나타냈다. 그러나 이 도파로는 0.6328 μ m에서는 다중모우드 광도파로가 됨을 관찰할 수 있었으며, 이 경우에 본 측정법 end-fire coupling으로는 재현성있는 모우드 결합이 어려우며 광손실이 각 모우드들 간의 커플링 효율에 의하여 달라지므로 손실율을 측정하지 않았다. 다중모우드 도파로의 모우드별 도파손실의 측정은 프리즘 커플링법에 의하여 선택적으로 각 모우드를 여기서 측정할 수 있다. 그러나 본 연구의 도파로와 같이 매우 적은 손실을 갖는 도파로의 경우에는 프리즘 커플링시 커플링 효율의 편차가 크므로 적용하기가 어렵다.

표 1에서 길이가 같은 각 도파로에 대한 측정값의 범위는 15% 정도이다. 이는 도파로의 양쪽 단면을 두 개의 반사면으로 하는 Fabry-Perot 공진효과가 나타나기 때문인 것으로 판단된다. 이 경우 Fabry-Perot 공진효과에 의한 투과광 세기의 최대값(T_{max})과 최소값(T_{min})의 비율 $T_{max}/T_{min} \approx 1 - 4R$ 이 약 0.86으로서 측정치의 범위와 거의 일치하기 때문이다. Fabry-Perot 공진효과에 의해

정밀측정이 제한되는 것은 측정을 여러번하여 어느정도 피할 수 있다. 우리의 경험으로는 반복횟수를 늘려서 잦을 수 있는 손실율의 한계는 약 0.01 dB/cm 정도로 생각한다. 손실율이 이보다 낮을 경우 광손실을 측정하려면 굴절율이 광도파로의 유효굴절율과 같은 액체 속에 도파로를 담가놓고 실험을 하는 방법(index matching method)이나, 도파로의 단면에 무반사 박막을 입히고 실험하는 방법, 도파로를 기관에 나선(spiral)꼴로 만들어 도파로의 길이를 늘이는 방법, 도파로 공진기를 만들어 공진모우드의 선폭을 재고 이로부터 손실율을 환산하는 방법 등을 써야할 것으로 생각한다.

PSG 도파로의 손실특성을 이해하기 위하여 가로방향으로는 도파로의 구조가 없는 PSG-SiO₂의 도파박막을 만들어 열처리하기 전과 열처리한 후의 박막의 광손실율의 변화를 조사하였다. 박막에 빛을 집어넣어 주는 데는 프리즘 결합기를 썼다. 열처리를 하기 전에는 손실율이 파장 0.6328 μ m의 빛에 대해 1.65 dB/cm이었으나 질소 분위기에서 1100°C로 열처리한 다음에는 손실율이 0.1 dB/cm 이하로 크게 줄었다. 이 실험에서는 프리즘 결합기를 써서 빛을 도파로에 집어넣는 일의 재현성의 한계 때문에 0.1 dB/cm 이하의 손실율은 잦을 없었다. 열처리를 한 후 광도파로의 도파손실율이 크게 줄어드는 것은 눈으로 보아서도 쉽게 확인할 수 있었다. 열처리하기 전에는 박막을 따라 진행하며 산란된 레이저 광이 밝은 줄무늬로 보이므로 빛의 진행경로를 쉽게 알 수 있었으나, 열처리를 한 뒤에는 거의 없어져서 자세히 관찰하여도 빛의 진행경로를 거의 찾아낼 수 없었다. 이러한 결과는 산란손실이 이 도파로의 주요한 손실의 원인임을 시사한다. 이때의 광 산란은 CVD법으로 성장시킨 박막의 표면과 내부에 생긴 미세한 구조의 불균일에 의한 Ray-

leigh 산란으로 짐작된다. 박막 내부에 미세한 조직이 있음은 박막표면을 화학적으로 부식처리한 다음 전자현미경으로 보아 확인할 수 있다.^[12] 이 박막을 열처리하면 조직이 재형성되어 불균일한 미세구조가 사라져 고르게 되고 박막의 밀도도 더 높아지므로 산란손실이 줄어든 것으로 추측된다. 이러한 추측은 CVD법으로 성장시킨 SiO₂박막의 굴절율이 1100°C로 열처리하면 약 0.01 정도 커진다는 사실과도^[10] 잘 맞는다.

열처리의 다른 효과로는 흡수손실의 감소가 있다. 일반적으로 PSG박막의 CVD 성장과정에서는 중간생성물로 수소화합물이 나타난다. 따라서 이 때 만들어지는 SiO₂ 박막 속에는 Si-H (흡수선은 1.52 μm),^[13] P-H (흡수선은 1.47 μm로 추정), 또는 O-H (흡수선은 1.40 μm)^[14] 등의 수소결합이 약 1 내지 2% 정도 들어있어^[15] 도파로의 흡수손실을 일으킨다. 이 수소결합은 고온 열처리 과정에서 깨어지고, 여기서 떨어져 나온 수소는 확산되어 대기중으로 빠져나간다. 따라서 열처리한 뒤에는 도파로의 흡수손실도 줄어든다.

그림 9는 도파모우드의 근접영상 사진으로 (A), (B), 및 (C)는 그림 7의 가시광용 도파로에 파장이 0.6328 μm, 1.30 μm, 1.53 μm인 빛을 넣었을 때의 도파모우드이고, (D)는 그림 8의 근적외광용 도파로에 파장 1.53 μm의 빛을 넣었을 때의 도파모우드이다. (B)와 (C)의 도파모우드의 광손실율은 모두 2 dB/cm 이상으로 매우 크다. 그림 1의 도파로 구조와 비교하면 그림 9의 (B)와 (C)는

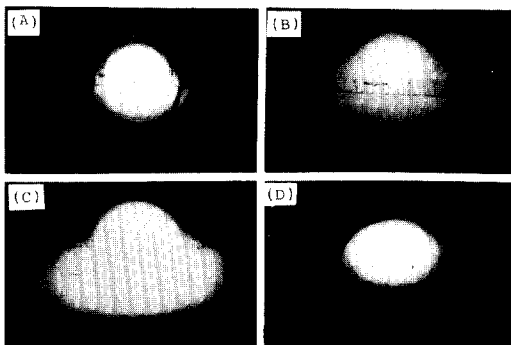


그림 9. Near field patterns of the single modes of phosphosilicate glass waveguides; (A), (B), and (C) are for the visible light guiding PSG waveguide as shown in figure 7; (D) is for the near IR light guiding PSG waveguide as shown in figure 8; (A) is for 0.6328 μm, (B) is for 1.30 μm, and (C) and (D) are for 1.53 μm wavelength.

도파모우드의 자락이 Si 기판에 근접하고 있으며 도파로의 클래딩을 채우며 도파로의 양쪽으로 퍼져 있음을 알 수있다. 이와 같은 도파모우드는 도파로 코어에 구속되는 정도가 작기 때문에 굴절율이 보다 큰(n=3.5) Si 기판 쪽으로 방사손실이 생기며, 도파에너지가 코어의 양쪽으로 넓게 퍼져있기 때문에 도파로의 폭이 고르지 않을 경우에 생기는 모우드 산란에도 취약하다.^[16] 따라서 이와같은 광손실을 줄이려면 도파모우드가 단 하나 이면서 모우드가 구속되는 정도가 적당히 큰 도파로를 설계하여 만들어야 한다.^[17] 그림 9의 도파모우드 관찰과 도파 손실율의 측정 결과로부터 그림 7의 도파로는 가시광의 도파에 적당하고, 그림 8의 도파로는 근적외광의 도파에 적당함을 알 수 있다.

그림 9(A)에 표시된 도파모우드의 손실율은 파장 0.6328 μm인 빛에 대해 0.03 dB/cm인데 도파로를 열처리한 다음에 광산란이 크게 줄어든 것과 Rayleigh 산란이 파장의 네제곱에 반비례함을 감안하면 도파로의 최적설계와 제작방법의 개선을 통해 파장 1.53 μm인 빛에 대해서는 손실율 0.01 dB/cm 또는 그 이하의 저손실 광도파로도 만들 수 있음을 시사한다.

IV. 결 론

Si 전자소자를 만들때 절연층 형성에 쓰이는 SiO₂의 CVD 방법으로 Si를 기판으로하는 광도파로를 제작하였다. 이 도파로를 열처리하면 손실율이 현저히 감소하여 0.6328 μm에서 0.03 dB/cm, 1.53 μm에서 0.04 dB/cm까지 감소함을 확인하였다. 도파로의 광손실은 주로 CVD 박막을 증착할 때 생기는 박막조직의 거칠음과 박막 속에 결합된 수소에 의해 생기는데, 열처리를 하면 박막의 계면 및 미세조직이 재형성되어 매끄럽고 균일하게 되며 또한 수소 등의 불순물이 제거되어 광손실이 줄어듦을 시사한다. 도파모우드의 근접영상(near-field)을 관찰하고, 도파모우드의 공간적 분포를 도파로의 구조와 관련지어 이해함으로써 도파로 구조에 기인하는 광손실의 원인을 정성적으로 고찰하였다. 그 결과 도파로의 손실율을 줄이려면 코어에 대한 도파모우드 구속정도의 최적설계가 필요함을 알았다.

참 고 문 헌

[1] R. Ader, Y. Shani, C.H. Henry, R.C. Kistler, G.E. Blonder, and N.A. Olsson, "Measurement of Very Low-Loss Silica on Silicon Waveguides with a

- Ring Resonator", Appl. Phys. Lett. **58**, 444 (1991).
- [2] T. Kominato, Y. Ohmori, H. Okazaki, and M. Yasu, "Very Low-Loss GeO₂-Doped Silica Waveguides Fabricated by Flame Hydrolysis Deposition", Electron. Lett. **26**, 327 (1990).
- [3] C.H. Henry, R.F. Kazarinov, H.J. Lee, N.A. Olsson, and K.J. Orlowsky, IEEE J. Quantum Electron. **QE-23**, 1426 (1987).
- [4] N.A. Olsson, C.H. Henry, R.F. Kazarinov, H.J. Lee, B.H. Johnson, and K.J. Orlowsky, Appl. Phys. Lett. **51**, 1141 (1987).
- [5] Subhadra Dutta, Howard E. Jackson, and J.T. Boyd, Appl. Phys. Lett. **39**, 206 (1981).
- [6] M. Kawachi, "Silica Waveguides on Silicon and their Application to Integrated-Optic Components", Optical and Quantum Electronics **22**, 391 (1990); N. Takato, M. Yasu, and T. Edahiro, Electron. Lett. **22**, 321 (1986).
- [7] C.H. Henry, G.E. Blonder, and R.F. Kazarinov, "Glass Waveguides on Silicon for Hybrid Optical Packaging", J. Lightwave Technol. **7**, 1530 (1989).
- [8] S. Valette, S. Renard, H. Denis, J.P. Jadot, A. Fournier, P. Philippe, P. Gidon, A.M. Grouillet, and E. Desgranges, "Si-Based Integrated Optics Technologies", Solid State Technol., Feb. 1989, p. 69; S. Valette, P. Mottier, J. Lizet, P. Gidon, J.P. Jadot, and D. Villani, Proc. Soc. Photo-Opt. Instrum. Eng. **651**, 94 (1986).
- [9] 정환재, 이형종, 정이선, 임기건, 전은숙, 양순철, 김진승, "LPCVD P₂O₅-SiO₂ 집적광학박막의 제작 및 특성연구", 한국광학회지 투고예정 (1993. 3).
- [10] H.J. Lee, C.H. Henry, K.J. Orlowsky, and T.Y. Kometani, Appl. Opt. **27**, 4104 (1988).
- [11] R.A. Levy, K. Nassau, "Viscous Behavior of Phosphosilicate and Borophosphosilicate Glasses in VLSI Processing", Solid State Technol., Oct. 1986, p. 123; R.A. Levy, S.M. Vincent, T.E. McGahan, J. Electrochem. Soc. **132**, 1472 (1985).
- [12] M. Kawachi, M. Yasu, and T. Edahiro, Elect. Lett. **19**, 583 (1983); Yoshimi Shioya and Mamoru Maeda, J. Electrochem. Soc. **133**, 1943 (1986).
- [13] S. Sakoguchi, H. Itoh, F. Hanawa, and T. Kimura, "Drawing-Induced 1.53 μ m Wavelength Optical Loss in Single Mode Fiber Drawn at High Speeds", Appl. Phys. Lett. **47**, 344 (1985).
- [14] B.G. Bagley, C.R. Kurkjian, J.W. Mitchel, G.E. Peterson, and A.R. Tynes, "Materials, Properties, and Choices" in *Optical Fiber Telecommunications*, Eds. S.E. Miller and A.G. Cheynoweth (Academic Press, New York, 1979), Chapter 7, p. 176.
- [15] C.H. Henry, R.F. Kazarinov, H.J. Lee, K.J. Orlowsky, Appl. Opt. **26**, 2621 (1987).
- [16] Dietrich Marcuse, *Light Transmission Optics* (Van Nostrand Reinhold, New York, 1982), Chapter 9; Charles H. Henry, Ralph A. Logan, and F. Ralph Merritt, IEEE J. Quantum Electron. **QE-17**, 2196 (1981).
- [17] 김진승, 이형종, 정환재, 임기건, 정창섭, "유한영역에서의 조화함수 전개법을 이용한 반달꼴 단면 실리카 광도파로의 모드 분석" 한국광학회지 투고 (1993. 1).

Fabrication and Loss Measurement of P₂O₅-SiO₂ Optical Waveguides On Si

Hyung Jong Lee, Kiegon Im, Chang Sub Chung

Department of Physics, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

Hwanjae Jung

Department of Physics Education, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

Jin Seung Kim

Department of Physics, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea

(Received: October 12, 1992)

A low loss optical waveguide of P₂O₅-SiO₂ on Si substrate is produced by using the chemical vapour deposition method of SiO₂ thin films used in Si technology. Propagation loss of the waveguide layer was 1.65 dB/cm as produced and reduced down to 0.1 dB/cm after heat treatment at 1100°C. By using laser lithography and reactive ion etching method P₂O₅-SiO₂ waveguide was produced and subsequently annealed at 1100°C. As a result of this annealing the shape of the waveguide core was changed from rectangular to semi-circular form, and the propagation loss was reduced as down to 0.03 dB/cm at 0.6328 μm and 0.04 dB/cm at 1.53 μm. We think that the mechanism of the reduction in propagation loss during the heat treatment is the following: 1) The hydrogen bonding in waveguide layer, which causes absorption loss, is dissociated and diffused out. 2) The roughness of the interface and the micro-structure of the waveguide layer is removed. 3) The irregularities in the cross-sectional shape of the waveguide which was induced during the lithographic process were disappeared by flowing of the waveguide core.